534
K834
REMOTE STORAGE

IX. *Ueber Klänge mit ungleichförmigen Wellen; von Dr. Rudolph König in Paris.*

In einer früheren Abhandlung, welche ich unter dem Titel „Bemerkungen über die Klangfarbe“ veröffentlicht[1]), habe ich bewiesen, dass die Phasendifferenz der einen Grundton begleitenden Töne keineswegs ohne Einfluss auf die Klangfarbe sei, wie man bis dahin angenommen hatte, sondern sogar recht bedeutende Aenderungen in derselben bewirken könne. Ich zeigte, dass die Existenz der Stösse bei getrübten harmonischen Intervallen schon allein hinreichte, um zu beweisen, dass ein solcher Einfluss der Phasendifferenz auf die Klangfarbe nothwendigerweise bestehen müsse; und verschiedene Experimente mit der Wellensirene, deren Resultate ausnahmslos darin übereinstimmten, dass sie diesen Einfluss sehr deutlich erkennen liessen, hatten also hauptsächlich nur den Zweck gehabt, die Grösse dieses Einflusses zur Wahrnehmung zu bringen. Hiernach musste somit die Klangfarbe als von der Anzahl der relativen Intensität und der Phasendifferenz der den Grundton begleitenden harmonischen Töne abhängig erklärt werden, und ein noch anderes Element, welches auf dieselbe einwirken könnte, lässt sich auch nicht denken, so lange man mit Klängen zu thun hat, die nur durch gleichförmige Wellen hervorgerufen werden. Man kann nun aber die Frage aufwerfen, ob zur Erzeugung eines Klanges es wirklich durchaus nothwendig sei, dass die aufeinander folgenden Wellen alle eine durchaus gleiche Form besitzen, oder ob nicht vielleicht gewisse Veränderungen oder Umwandelungen dieser Form eintreten können, ohne dass dadurch die einheitliche Empfindung des Klanges aufgehoben wird.

Diese Frage gewinnt besonders dadurch an Wichtigkeit, dass die Theiltöne der tönenden Körper, d. h. die Töne, welche diese Körper einzeln hervorzubringen im Stande sind, indem sie mit verschiedenen Unterabtheilungen schwingen, in Wirklichkeit nie ihren theoretischen Werthen genau entsprechen, sondern sich diesen Werthen immer nur mehr oder weniger nähern, wie ich dieses auch schon in der oben erwähnten

1) R. König, Wied. Ann. 14. p. 369. 1881.

55280

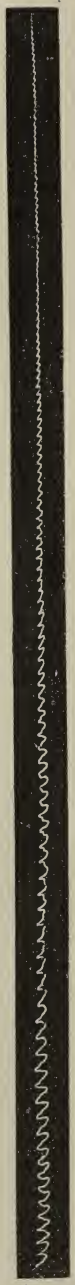

Fig. 2a. Fig. 1. Fig. 2.

Abhandlung angegeben und an den verschiedenen tönenden Körpern nachgewiesen habe. Wenn also ein solcher Körper neben seinem Grundton mehrere seiner Theiltöne zugleich ertönen lässt, so werden dadurch Wellen hervorgerufen, welche wegen der beständigen Phasenverschiebung dieser Theiltöne einem beständigen Formenwechsel unterworfen sind, und dieser Fall tritt bei den musikalischen Instrumenten um so häufiger ein, als bei den wichtigsten derselben hauptsächlich die Schwingungen der Saiten und die der Luftsäulen zur Anwendung kommen, also gerade derjenigen tönenden Körper, welche mit ganz besonderer Leichtigkeit Theiltöne bilden, und mehrere derselben zugleich hervorbringen können. Man erhält daher auch bei der Aufzeichnung der Bewegung einzelner Punkte der gestrichenen Saiten sehr häufig, und der angeschlagenen wohl sogar immer, Curvenreihen von beständig wechselnder Form, und zwar keineswegs nur bei beträchtlich langen, wenig gespannten Saiten, deren Grundton sehr tief ist, also etwa den Saiten der tiefsten Töne des Claviers, sondern auch bei Saiten, deren Grundtöne den mittleren und höheren Lagen entsprechen. So zeigt z. B. die Curvenreihe Fig. 1, die den Tonschriften entnommen ist, welche die Abhandlung von Cl. Neumann „Ueber die Schwingungen gestrichener Saiten“[1]) begleiten, die Bewegung eines Punktes einer gestrichenen $\overline{\overline{e}}$ Saite, und Fig. 2 zwei Tonschriften

1) Cl. Neumann, Wien. Ber. 20. Jan. 1870.

einer nur 0,50 m langen und auf *c'* gestimmten Stahlsaite, welche vermittelst eines kleinen Korkhammers angeschlagen wurde. Die Saiten der tiefsten Töne des Claviers würden nicht nur wegen ihres wenig ausgebildeten musikalischen Charakters ein unzweckmässig gewähltes Beispiel abgeben, sondern auch darum, weil die Ueberspinnung derselben mit Kupferdraht nicht ihre ganze Länge einnimmt, und sie also nicht als gewöhnliche einfache Saiten betrachtet werden können.

Von Körpern mit ganz unharmonischen Theiltönen sollte man erwarten, dass sie vollständig unfähig sein müssten Klänge vermittelst dieser zu bilden, und doch hat der Sprachgebrauch den Glocken gewöhnlich einen Klang zuerkannt. Es ist wahrscheinlich die sehr grosse Anzahl der durch das Aufschlagen des Klöppels zugleich erregten Töne, und die sehr beträchtlich grössere Intensität eines derselben, welche es schwer macht, das ganze Tongemisch zu entwirren, und dieses wie einen Klang von der Tonhöhe des Tones grösster Intensität auffassen lässt, wenigstens während einer kurzen Zeit nach dem Anschlagen, denn beim Ausklingen der Glocken verschwinden ihre höheren Töne schneller, als die tieferen, sodass zuletzt nur noch ihr Grundton gehört wird, welcher aber nicht der Ton stärkster Intensität der Glocke zu sein pflegt, nach dem ihre Tonhöhe angegeben wird, wie bekanntlich Lord Rayleigh an fünf Glocken hat constatiren können.

Würde das Ohr, wenn nicht ganz rein harmonische oder auch ganz unharmonische Töne einen starken Grundton begleiten, diese immer aus dem Tongemische einzeln heraushören, andererseits aber rein harmonische Töne stets mit ihrem Grundtone zu einer einheitlichen Empfindung verschmelzen, so möchte damit eine scharfe Grenze zwischen Zusammenklängen und Klangfarben gezogen sein, und Untersuchungen über die Zusammenklänge könnten dann von dem Studium der Klangfarbe ausgeschlossen bleiben; da jedoch beides nicht der Fall ist und geübte Ohren ebensowohl häufig harmonische Töne aus einem Klange einzeln heraushören können, wie es ihnen andererseits oft unmöglich ist, Zusammenklänge unharmonischer Töne zu entwirren, so habe ich eine Reihe Versuche über das Verhalten und die Wirkung unrein harmonischer und auch unharmonischer, einen

starken Grundton begleitender Töne angestellt, um zu sehen, ob sich nicht wenigstens einige feste Anhaltspunkte darüber gewinnen liessen, obgleich die Resultate derartiger Untersuchungen natürlich in nicht geringem Grade von der musikalischen Ausbildung des beobachtenden Ohres abhängen müssen, und z. B. ein geübter Orchesterdirigent oft noch die einzelnen Töne aus einem Tongemische heraushören wird, welches weniger geübte Ohren schon wie einen durchaus einheitlichen Klang empfinden.

Ich machte diese Experimente mit Wellensirenenscheiben, welche nach demselben Princip construirt waren, das ich auch bei früheren Untersuchungen schon mehrfach angewendet, d. h. ich übertrug die einen einfachen Grundton darstellenden Sinuscurven auf die Peripherie eines Kreises und auf diese dann wieder die Sinuscurven derjenigen Töne, von welchen ich den Grundton wollte begleiten lassen; die so erhaltene Wellenlinie wurde dann am Rande einer Metallscheibe ausgeschnitten und durch eine schmale Windspalte angeblasen, während die Scheibe selbst auf einem Rotationsapparate in Umdrehung versetzt war.

In einer ersten Versuchsreihe untersuchte ich den Fall, in welchem ein Grundton von unrein harmonischen Tönen begleitet ist, und welcher also besonders oft bei denjenigen tönenden Körpern eintreten muss, deren Theiltöne der Theorie nach der Reihe der harmonischen Töne angehören.

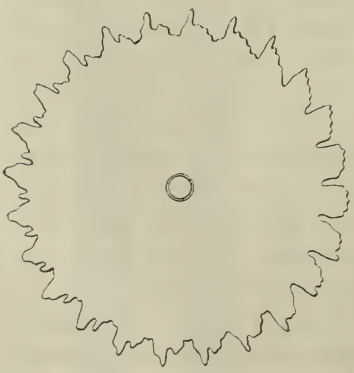

Fig. 3.

Bei der ersten Scheibe (Fig. 3) hatte ich auf 24 den Grundton darstellende Sinuscurven, die Sinuscurven der Töne $2.24+1$, $3.24+3$, $4.24+5$, $5.24+7$, übertragen und bei allen dasselbe Verhältniss zwischen der Länge und der Höhe wie beim Grundton beibehalten. Wie zu erwarten stand, ergab das Experiment, dass man die Tonmasse in diesem Falle sehr deutlich als aus einzelnen Tönen zusammengesetzt vernimmt, obgleich bei der Beobachtung der Umstand sehr stört, dass die Reihe von 24 Grundwellen von sehr verschiedener Form zu

kurz ist, um nicht als Periode aufzutreten, welche bei jedem Umlaufe der Scheibe wie eine Schwebung wirkt, was dem Tongemische also einen intermittirenden Charakter gibt.

Beim Anblick dieser Scheibe dürfte man kaum geneigt sein, zu glauben, dass Schwingungen von so verschiedener Form wie diese von einem tönenden Körper sollten ausgeführt werden können, und doch wird man bemerken, dass ein Theil der in Fig. 1 gegebenen Tonschrift einer gestrichenen e''-Saite gerade eine auffallende Aehnlichkeit mit den Wellencurven auf der einen Hälfte dieser Scheibe zeigt.

Für die Construction der zweiten Scheibe (Fig. 4) hatte ich dieselben Wellenzahlen benutzt, die Höhe der Wellen im Verhältniss zu ihrer Länge aber für jeden höheren Ton verhältnissmässig abnehmen lassen. Hier nahm nun schon das Tongemisch weit mehr den Charakter eines Klanges an, wenn derselbe auch intermittirend war, da der Uebelstand der zu kurzen Periode im Verhältniss zu dem sehr beträchtlichen Wechsel der Wellenform auch bei diesem Experimente wie beim ersten stattfand.

Fig. 4.

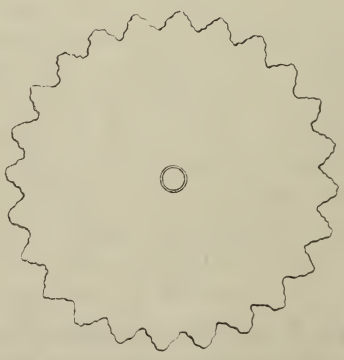

Fig. 5.

Die Wellenreihen der dritten Scheibe (Fig. 5) waren 24, 6.24+6, 7.24+8, 8.24+12 und beim Anblasen hörte man den Grundton und die höhere Tonmasse, welche durch die drei hohen Töne zusammen gebildet wurde, gesondert. Der Abstand zwischen dem tiefen Grundtone und diesen hohen Tönen war hier offenbar zu gross, um eine Verschmelzung zu gestatten,

und es galt nun also, diese Kluft auszufüllen. Dies lässt sich schon mit derselben Scheibe ausführen, da der einfache Ton, welcher entsteht, wenn man Sinuscurven durch eine zu ihrer Fortpflanzungsrichtung senkrechten Spalte anbläst, sofort in einen Klang mit starken harmonischen Tönen übergeht, deren Intensität nach der Höhe zu regelmässig abnimmt und deren Phasendifferenz, wenn die Spalte in der Richtung der Rotationsbewegung der Scheibe geneigt ist, 0 beträgt und im entgegengesetzten Falle $\frac{1}{2}$. Neigt man nun also die anblasende Spalte vor der Wellencurve der rotirenden Scheibe in der einen oder der anderen Richtung und verwandelt somit den einzelnen Grundton in eine Reihe harmonischer Töne, so verschmelzen für mein Ohr die drei den harmonischen Tönen 6, 7, 8 nahen Töne vollständig mit diesem Klange.

Auf einer vierten Scheibe (Fig. 6) hatte ich die Kluft, welche zwischen dem Grundtone und den drei unrein harmonischen Tönen 6, 7, 8 auf der dritten Scheibe bestand, direct ausgefüllt, indem ich die Sinuscurven dieser drei hohen Töne statt auf 24 Sinuscurven auf 24 Wellencurven übertrug, welche aus den ersten fünf rein harmonischen Tönen gebildet waren, und das Tongemisch, welches ich beim Anblasen derselben erhielt, hatte dann wieder durchaus den Charakter eines Klanges, und zwar bei allen Stellungen der Windspalte. Steht diese senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung, so ist der Klang scharf und wird noch schärfer, wenn man sie etwas in der den Curvengipfeln entgegengesetzten Richtung neigt, bis die Spitzen der Curven früher als ihre anderen Theile vor die Spalte treten; der Klang wird weniger scharf und runder bei der Neigung der Spalte in der Richtung der Curvengipfel, wie sich erwarten liess.

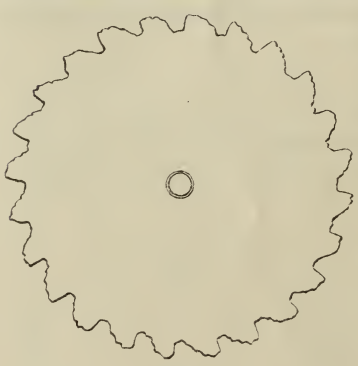

Fig. 6.

Aus allen diesen Versuchen scheint also hervorzugehen, dass das Ohr ein Tongemisch, welches aus einem Grundton

und einer Reihe nach der Höhe zu mehr und mehr verstimmter harmonischer Töne besteht, sehr wohl als einen Klang empfinden kann, und dieses um so leichter thut, als diese Töne eine vollständigere Reihe bilden und ihre Intensitäten sich einer regelmässigen Abnahme nach der Höhe zu nähern. Befinden sich dagegen in der Reihe grosse Lücken oder haben einzelne dieser Töne eine beträchtlich grössere Intensität als die anderen, so verliert das Tongemisch dadurch mehr oder weniger seinen einheitlichen Charakter.

Das Zusammenwirken der unrein harmonischen Töne ist sicherlich wohl auch die hauptsächlichste Ursache der sehr scharfen und schmetternden Klänge solcher Instrumente, wie z. B. der Trompeten, welche sich durch den Zusammenklang rein harmonischer Töne weit schwerer dürften erklären lassen, denn wenn auch die Intervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden harmonischen Tönen nach der Höhe zu kleiner und kleiner werden, so bleibt doch ihr Abstand von einander in Schwingungszahlen immer derselbe und stets gleich der Schwingungszahl des Grundtones, wenn aber z. B. bei einem Trompetenton *c'* dieser Abstand immer 256 *v. d.* beträgt, so können dabei durchaus keine Stösse von merklicher Wirkung und folglich auch keine scharfen Rauhigkeiten entstehen. Ganz anders verhält sich die Sache aber, wenn die Theiltöne zu den unrein harmonischen gehören, denn in diesem Falle geben erstens alle mit dem Grundtone primäre Stösse, und zwar jeder von ihnen eine andere Anzahl, dann aber müssen diese unrein harmonischen Töne auch unter sich zahlreiche und starke secundäre Stösse erzeugen, d. h. Stösse, welche durch den Zusammenklang der von ihnen gebildeten Stosstöne entstehen und diese tragen wahrscheinlich sogar noch mehr dazu bei, ein vielfältiges Gerassel hervorzubringen und somit den Klang scharf und schmetternd zu machen, als die ersteren.

Weit weniger häufig als der bisher untersuchte, dürfte in der Wirklichkeit der Fall vorkommen, in welchem gleich lange Wellen von verschiedener Form aufeinanderfolgen, die nicht aus dem Zusammenklange unrein harmonischer oder auch ganz unharmonischer Töne mit dem Grundton entstanden sind.

Blies ich eine Reihe von Wellen an, welche alle denselben Grundton enthielten, bei denen aber die Zahl, Inten-

sität und Phasendifferenz der harmonischen Töne beständig in einer Weise wechselten, dass dadurch sehr verschiedene Formen entstanden waren, die weder gleiche Amplituden, noch auch isochrone Maxima der Verdichtung und Verdünnung darstellten (Fig. 7), so hörte man den Grundton begleitet von einem sehr starken Rasseln, in welchem auch noch einige Töne schwach vernehmbar waren, was alles zusammen jedoch in keiner Weise einen musikalischen Klang bildete.

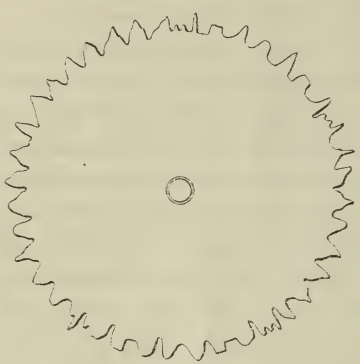

Fig. 7.

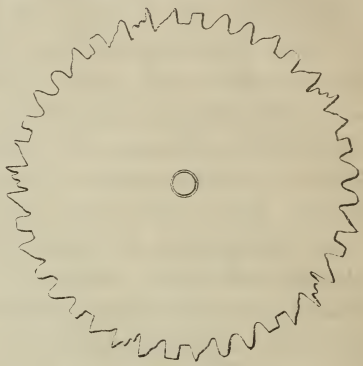

Fig. 8.

Wiederholte sich in einem anderen Wellenzuge nur eine kleine Anzahl solcher Wellen periodisch (Fig. 8), so wirkten diese Perioden wie einzelne Tonimpulse, welche bei geringerer Anzahl wie Stösse, bei grösserer aber als Ton neben dem Grundtone von dem starken Gerassel begleitet, gehört wurden, was aber auch wieder noch keinen musikalischen Klang gab.

Durchaus andere Resultate erhält man aber mit Wellen, deren Formenwechsel der Art ist, dass sie bei demselben nicht aufhören, gleiche oder doch wenigstens nahezu gleiche Schwingungsweiten und isochrone Maxima der Compression und Dilatation darzustellen. Wurde eine Reihe kleiner unregelmässiger Wellen auf die Sinuscurven des Grundtones übertragen (Fig. 9), welche den Kräuselungen vergleichbar waren, die man über grosse Wasserwellen laufen sieht, ohne dass sie die Grundform derselben wesentlich modificiren, so rief sie keine vom Grundtone gesonderte Empfindung hervor und verschmolz vielmehr mit diesem vollständig, sowohl wenn derselbe beim Anblasen mit senkrechter Windspalte nur allein existirte, wie auch wenn er bei geneigter Windspalte von harmonischen Tönen begleitet war.

Eine andere Folge von Wellen sehr verschiedener Form, welche ich dadurch erhalten, dass ich von einer Reihe Sinuscurven nur die äussersten Gipfel und Thaltiefen unverändert gelassen, die zwischenliegenden Stücke aber sehr beträchtlich ganz nach Willkür und auf jeder Welle in anderer Art verändert hatte (Fig. 10), liess ebenfalls einen Klang hören, dem auch in allen seinen Abänderungen, welche man durch die verschiedenen Stellungen der Windspalte bewirken konnte, in keiner Weise der musikalische Charakter fehlte.

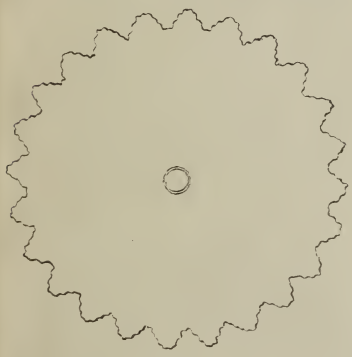

Fig. 9.

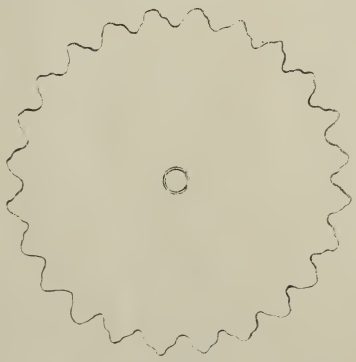

Fig. 10.

Die Versuche dieser zweiten Reihe zeigen also, dass kleine Unregelmässigkeiten, welche nicht wesentlich die Grundform der Wellen verändern, die Bildung eines Klanges nicht hindern, und dass auch gleich lange Wellen von selbst sehr verschiedener Form einen Klang erzeugen können, wenn nur ihre Amplituden sich immer ziemlich gleich bleiben und die Maxima ihrer Verdichtungen und Verdünnungen isochrone Reihen bilden, wobei es jedoch nicht nöthig ist, dass die einen gerade in die Mitte der anderen fallen.

Bei allen diesen Klängen, welche durch verschieden geformte Wellen erzeugt werden, haben alle Wellen stets den gleichen Grundton; die harmonischen Töne, in welche sich jede einzelne dieser Wellen zerlegen lässt, gehören somit immer alle derselben Reihe an, und wollte man also auch diese Klänge als allein aus Grundton und harmonischen Tönen entstanden erklären, so müsste man sagen, dass bei ihnen die den Grundton begleitenden harmonischen Töne ihre relative Intensität und ihre Phasendifferenz von Welle zu Welle verändern.

Paris, Januar 1890.

3 0112 072672519